

항만에서의 위험·유해물질(HNS) 누출사고 대응에 관한 연구

우영진·이창준*

한국해양수산연수원·*부경대학교 안전공학과
(2016. 7. 12. 접수 / 2016. 10. 12. 수정 / 2016. 10. 27. 채택)

A Study of Emergency Response for the Leakage Accident of Hazardous and Noxious Substances in a Port

Young Jin Woo · Chang Jun Lee**

Korea Institute of Maritime and Fishers Technology

*Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received July 12, 2016 / Revised October 12, 2016 / Accepted October 27, 2016)

Abstract : In general, lots of containers including various dangerous materials are transported to the port located in big cities such as Busan where massive residents live. Thus, it's really important how to make the emergency response for the leak accidents of dangerous materials and evaluate the direct or indirect damages to adjacent areas. In this study, in order to make reasonable emergency plans, CA (Consequence Analysis) is employed after selecting a key hazardous and noxious material, hydrogen fluoride. This material accounts for the third largest portion of cargo volume among all dangerous materials and can cause a huge damage in case of leakages. As a case study, Busan North port is selected as a test port since the portion of dangerous materials is higher than that of other ports in Busan. It is assumed that 1 ton of hydrogen fluoride is spilled at Busan North port. CA is performed to assess the impact of this accident. Throughout CA, the ERPG-2 range of a leak accident can be evaluated and this result can be used for decision making tools for mitigating the impact of a leak accident. To mitigate the damage of this accident, suitable a protective equipment and resident evacuation procedures should be prepared. Finally, this study can provide a systematic approach to make the emergency plan for reducing economical and personal losses.

Key Words : consequence analysis, hazardous materials, ALOHA

1. 서론

급속한 산업발전으로 인해 해상으로 운송되는 화물의 양과 종류가 급증하고 있다. 위험·유해물질의 해상물동량 역시 매년 증가폭이 확대되어 이로 인한 유출사고의 위험이 증대되고 있다. 여러 나라에서 크고 작은 사고를 경험하면서 위험·유해물질 사고의 잠재위험성이 국제적으로 논의되기 시작하였고, 이에 국제해사기구에서는 2000년 3월 OPRC-HNS (protocol On Preparedness, Response and Co-operation to pollution incidents by Hazardous and Noxious Substances) 의정서를 채택하여 국가마다 위험유해물질사고 대비·대응체계를 구축하도록 하였다. 현재 각국은 정책적, 재정적 전략수립을 기반으로 HNS (Hazardous and Noxious Substances) 방제 대비, 대응력을 지속적으로 향상시키

고 있다. 우리나라도 국가긴급방제계획을 수립하여 대형 해양오염사고 대비 방제체제강화 및 국가긴급방제계획의 현장 실행력 제고를 위해 노력하고 있다. 산적형태 위험물의 경우 울산항, 태안항 등의 HNS 저장시설이 있는 전용부두를 통해서 들어간다. 하지만 포장형태 위험물의 경우 위험물 컨테이너형태로 운송되면서 대도시와 인접해있는 부산항 등의 항만으로 들어가기 때문에, 만약 사고가 발생되면 직접적인 피해뿐만 아니라 주위에 거주하고 있는 사람들에게 피해를 줘 대형사고로 확대되기 쉽다. 실제로 항만에서 위험물 관련 크고 작은 사고들이 발생되고 있어 항만에서 위험물 누출사고에 대한 대응 능력이 필요하다. 2013년 5월 9일 시흥에서 위험물 컨테이너를 실은 화물차가 도로에서 전복되는 사고가 발생하였다. 우회전하던 화물차에서 컨테이너가 좌측으로 넘어졌고, 사고가 난 뒤

* Corresponding Author : Chang Jun Lee, Tel : +82-51-629-6465, E-mail : changjunlee@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

컨테이너 안에 있던 드럼통이 부서지면서 불산 40여 리터가 유출됐다. 컨테이너에는 200리터짜리 드럼통 80여개에 불산 18.8톤이 들어있었다. 당시 누출사고 초기 대응 시 1차 작업으로 모래를 붓고, 거기에 2차로 중화제 소석회를 살포 후 다시 그 위에 또 다시 모래를 부었다.

불산은 모래와 반응하여 독성가스인 실리콘 테트라플루오리드(Silicon tetrafluoride)를 만들기 때문에, 누출 시 모래를 부으면 안된다. 하지만 다양한 MSDS (Material Safety Data Sheet)를 살펴본 결과, 불산 누출 시 모래를 사용하여 대응하라고 나와 있는 경우가 많았다. 다행히 누출량이 많지 않아 인명피해는 없었지만, 만약 항만에서 많은 양의 위험물이 누출되거나 또는 위와 같이 부적절한 대응을 한다면 큰 피해를 야기할 수 있다. 특히 일부 HNS는 짧은 시간에 넓은 지역까지 누출이 확대되기 때문에 신속하게 사고에 대처할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 항만에서 발생 가능성이 높은 가상의 누출사고 시나리오를 토대로 누출사고 시 피해범위를 어떻게 산정할지에 대한 연구와, 피해를 최소화하기 위해 필요한 조치사항에 대한 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 위에서 언급한 두 가지에 대해 연구를 수행하여 항만에서 누출사고 발생 시 대응 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 우리나라 최대 항만인 부산항을 대상으로 위험물 컨테이너 처리현황을 조사하고, 사고발생 시 큰 피해를 야기할 수 있는 물질을 선정하여 위험성 평가를 실시하였다.

위험성 평가는 방법에 따라 HAZOP, PHA, Checklist 등의 정성적 위험성평가와 FTA, ETA, CA (Consequence Analysis) 등의 정량적 위험성 평가로 구분되는데, 본 연구에서는 피해범위 산정을 위하여 사고결과에 대해 분석을 하는 CA를 수행하였다.

CA 수행을 위해서 CA 소프트웨어 ALOHA를 사용했다. ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)는 미국의 National Oceanic and Atmospheric Administration이 개발하여, Environmental Protection Agency와 공동으로 활용하는 피해예측 프로그램으로 무료로 배포하고 있다. ALOHA는 실제 비상시 사용하여 신속하게 결과를 얻을 수 있도록 설계되었고, 약 1000가지 종류의 일반적인 유해 화학물질에 대한 물리적 특성이 저장되어 있다. 특히 무료로 사용할 수 있어 누구나 사용 가능하다는 장점이 있다. 상용 소프트웨어(TRACE, PHAST)보다 정확도가 떨어진다는 단점이 있지만, 매우 고가인 TRACE, PHAST에 비해 ALOHA의 결과도 비교적 신뢰할만한 하다는 여러 문헌이 있다¹⁾.

정상상태 등은 위험도에 기반한 HNS 방제자원 모델 개발에 관한 연구에서 우리나라의 HNS 해상물동량과 사고통계를 분석하여 해역별 잠재적 사고 위험도를 평가하고 상대적 사고빈도를 예측하였다²⁾.

이문진 등은 위험유해물질 유출사고 대응을 위한 가상시나리오 개발에 관한 연구를 통하여 부산주변해역의 위험평가 및 취약성분석 결과를 중심으로 위험유해물질 유출사고에 대한 가상사고 시나리오를 제시하고, 피해유형에 맞는 사고대응 시나리오를 개발하였다³⁾.

본 연구에서는 위험물 처리현황을 근거로 누출 시 큰 피해가 우려되는 물질을 선정 후 CA 수행을 통해, 거주구와 인접해있는 항만에서 위험물 컨테이너 누출사고가 발생했을 시에 대한 대응을 연구한다.

CA 수행 시 필요한 자료 분석을 위해 부산 항만에서의 컨테이너로 운송되고 있는 위험물 현황을 파악하고, 취급한 물량을 기준으로 사고와 연관이 높은 물질들을 선정하였다⁴⁾. 그리고 부산항 여러 항만의 위험물 컨테이너 점유율 및 실제로 발생한 사고사례를 조사하여 사고발생 지역을 선정하였다⁵⁾. 기상조건은 기상청의 방재기상연보를 통해 2014년 월별 평균 날씨를 선정하여 CA를 수행하였고⁶⁾, 기타 확보 불가능한 정보는 KOSHA GUIDE인 최악의 누출시나리오 산정에 관한 기술지침에 따라 CA를 수행하였다⁷⁾.

2. 연구배경

2.1 HNS 정의 및 현황

해상으로 운송되는 모든 화학물질이 위험한 것은 아니다. 운송되는 화학물질 중 위험을 내포하는 물질들을 HNS라 한다. OPRC-HNS 의정서에서 HNS는 “기름을 제외한 물질로 해양환경에 유입되면 인간의 건강과 해양생물자원 또는 생명체에 해로운 물질이며, 쾌적성을 손상하거나 다른 합법적인 바다의 이용에 방해가 되는 물질”로 정의된다. HNS 사고 대응관련 국제협약을 살펴보면 HNS에 의한 오염사고의 대비·대응 및 협력에 관한 OPRC-HNS 의정서가 2000년 3월 채택되고, 2007년 6월 국제 발효되어 국가마다 위험유해물질 사고 대비 대응체계를 구축하고 있다.

우리나라도 2008년 1월 해양환경관리법 시행 및 2008년 4월 OPRC-HNS 의정서 국내발효에 따라 HNS 오염사고 대비·대응을 추진하고 있다. 하지만 HNS 사고의 부처 간 임무와 역할이 선박안전법, 화학물질관리법 등에 복잡하게 연계되어 있어 이로 인해 재해·사고 후의 원인규명, 수습 및 재발방지 대책수립 등이 체계적으로 이루어지지 못할 우려가 있다. 따라서 다양하고

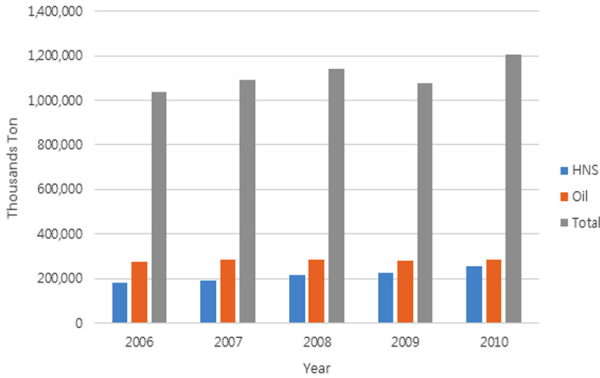


Fig. 1. Current trend of oil and HNS transportation in Korea⁸⁾.

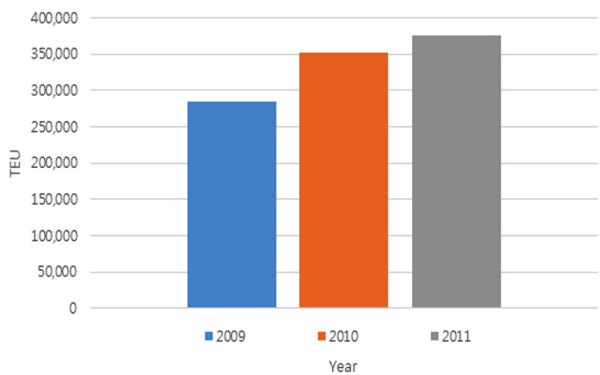


Fig. 2. Transportation of dangerous goods at all ports in Busan⁹⁾.

복합적인 HNS 해상유출사고 대응을 위한 컨테츠 및 현장지침을 개발하고, HNS의 다양성이 반영된 대응기술 및 방제장비 등을 마련하여 사고발생시 적절한 초동조치를 통해 사고가 확대되는 것을 막을 수 있어야 한다.

Fig. 1은 2006년부터 2010년까지 국내 유류 및 HNS의 해상물동량을 보여주고 있다⁸⁾. 전 세계적으로 해상물동량이 증가함에 따라 우리나라의 해상물동량 역시 증가 추세에 있다. 유류와 HNS의 물동량은 전체 해상화물 중 약 45%의 높은 비율을 나타낸다. 이중 유류의 물동량 증가는 5년 동안 3.1%에 머무르는 반면, HNS의 물동량 증가는 40.6%에 이른다. HNS 화물들은 산적(액체와 고체)형태와 포장형태, 2가지 방법으로 해상운송 될 수 있다. 위험물 컨테이너는 포장형태에 포함되며 부산항 등의 컨테이너 부두로 운송 되고 있다. Fig. 2는 2009년부터 2011년 까지 부산항의 위험물 컨테이너 물동량이다⁹⁾. 부산항뿐만 아니라 우리나라 주요항만의 위험물 컨테이너 수출입 물량도 꾸준한 성장세를 이어가고 있어, 위험물 컨테이너 사고 방지·대응책 및 물량 증가를 대비하여 위험물 장치 장 확장 방안이 마련되어야 한다.

3. HNS 누출 사고 시나리오 선정

3.1 대상지역 선정

부산항은 우리나라 중심 항만으로 2014년 우리나라 전체 컨테이너 처리물량의 76.9%를 차지하였다. CA수행을 위한 사고지역 선정에 위해 부산항을 북항과 신항으로 구분하여 위험물 컨테이너 점유율 분석하였다. Fig. 3은 북항과 신항의 컨테이너물량 대비 IMDG (International Maritime Dangerous Goods) Code 기준 위험물 점유율이다⁴⁾.

Fig. 3에서 보는바와 같이 북항에서의 위험물 점유율은 2012년 기준 2.6%로 신항 2.0% 보다 높은 점유율을 나타내고 있다. 북항의 위험물 점유율이 신항보다 높게 나타내는 이유는, 북항을 이용하는 해운사의 운항 특성상 화학공장이 밀집된 한·중·일 및 동남아 쪽으로 주기항을 하는 중·소형 선박이 많기 때문이다. Table 1은 2012년 부산항 북항의 컨테이너 터미널 별 IMDG Code 기준 위험물 처리현황이다⁴⁾.

자료 분석 결과, CA를 수행 할 사고지역을 컨테이너 물량 대비 위험물 점유율이 높은 부산항 북항 중, 위험물 처리량이 가장 많고 거주구와 인접해있는 A 컨테이너 터미널로 선정하였다. Fig. 4는 A 컨테이너 터미널의 위치다.

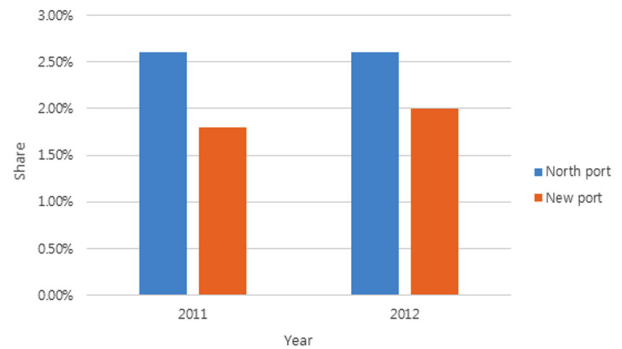


Fig. 3. Share of dangerous goods at Busan North & New port⁴⁾.

Table 1. Volumes of dangerous goods container at terminal in Busan North port⁴⁾ (Unit: TEU)

# of terminal	Import	Export	Total
A	33,643	27,941	61,584
B	22,230	20,608	42,838
C	11,289	13,520	24,809
D	11,140	9,987	21,127
E	9,793	8,208	18,001
F	8,962	8,613	17,575
Total	97,057	88,877	185,934



Fig. 4. Location of terminal A.

3.2 대상물질 선정

Table 2는 2013년 부산항에서 가장 많이 반입된 위험물 8가지다⁹⁾. 이 위험물들 중 CA를 수행할 물질을 선정하기 위해, 먼저 물질들의 NFPA 704 시스템 상 건강, 화재, 반응 위험등급을 알아보았다. NFPA 704 시스템은 미국 NFPA (National Fire Protection Agency)에서 개발한 시스템으로, 미국 내 모든 고정 설비는 NFPA 704 시스템 마킹을 의무적으로 사용하고 있다¹⁰⁾. 물질의 위험성과 유해성을 쉽게 알 수 있도록 물질의 건강 (파랑), 화재 (빨강), 반응 (노랑), 특수 (흰색) 위험성을 개괄적 기준에 따라 0~4의 수치로 표기한다. Table 3은 각 물질별 등급을 나타내고 있다. 8가지 물질 중 7, 8번은 부식성 액체로 명확한 물질이 아니며, NFPA 704 등급이 나와 있지 않아 물질 선정에서 제외시켰다. 이렇게 물질을 6가지로 선별 후, 두 번째로 이 물질들의 끓는점, 어는점을 조사했다.

Table 4는 위험물 6가지의 끓는점과 어는점이다. 6가지 물질들의 끓는점과 어는점을 분석한 결과, 불산 (hydrofluoric acid)을 제외한 나머지 물질들은 상온에서 액체나 고체 상태이다, 불산의 경우는 다양한 수용액상의 농도가 존재하기 때문에 정확한 끓는점과 어는점

Table 2. Ranking list of dangerous goods imported to Busan port⁹⁾

No.	Materials	UN No.	Vol. (QT)
1	sodium hydroxide, caustic soda	1,823	124,713
2	wet batteries	2,794	85,253
3	hydrofluoric acid	1,790	65,752
4	toluene diisocyanate	2,078	40,890
5	amine, liquid	2,735	34,898
6	tetramethylammonium hydroxide	1,835	24,803
7	corrosivity liquid	2,922	20,987
8	corrosivity liquid	1,760	14,277

Table 3. NFPA 704 rate for ranking list of dangerous goods

No.	Materials	NFPA 704		
		health	fire	reaction
1	sodium hydroxide, caustic soda	3	0	1
2	wet batteries	3	0	2
3	hydrofluoric acid	4	0	0
4	toluene diisocyanate	3	1	3
5	amine, liquid	3	1	0
6	tetramethylammonium hydroxide	3	0	0
7	corrosivity liquid	-	-	-
8	corrosivity liquid	-	-	-

Table 4. Boiling and freezing point of dangerous goods

No.	Materials	boiling point (°C)	freezing point (°C)
1	sodium hydroxide, caustic soda	1390	318
2	wet batteries	-	-
3	hydrofluoric acid	-	-
4	toluene diisocyanate	250	20
5	amine, liquid	243	-45
6	tetramethylammonium hydroxide	-	67

을 분석하는 것이 쉽지는 않다. 하지만, 불화수소(통상 무수불산)의 경우 끓는점이 19.5 °C이기 때문에 상온에서도 쉽게 기화가 가능하다. 따라서 CA 수행 시 최악의 누출시나리오 선정을 위해 대상물질로 상온에서 쉽게 증발하여 단시간에 사람에게 직접적으로 피해를 줄 수 있는 불화수소를 최종 선정하였다.

3.3 누출량 및 기상조건 선정

이론상으로 20피트 컨테이너에 적재 가능한 무게는 21,710 kg이다. 실제로 작업 시 최대 적재량은 18톤 정

Table 5. Average weather conditions of Busan North port⁶⁾

Month	Temp.(°C)	Wind speed (m/s)	Wind direction
1	7.6	5.0	WNW
2	7.0	4.4	WNW
3	9.4	4.8	SSW
4	13.6	3.7	E
5	17.3	5.0	W
6	20.1	4.0	NNE
7	22.9	4.1	W
8	23.2	5.4	NNE
9	21.9	3.4	NNE
10	17.9	4.5	NNE
11	13.0	3.9	WNW

도이며, 보통 위험물이 컨테이너로 운송될시 20피트 컨테이너 안에 최대 200리터짜리 드럼통 80개 또는 1톤짜리 플라스틱용기 18개로 운송된다. 누출은 항만 내 장치장에서 컨테이너에 적재된 플라스틱용기에 담긴 불화수소 1톤이 유출됐다 가정하고 CA를 수행한다. Table 5는 기상청의 방재기상관측자료에 나와 있는 2014년 1월부터 11월까지 부산항 북항 지역의 월 평균 날씨이다⁶⁾. 이 자료를 토대로 월별로 CA를 수행하여 사고가 발생했을 시 피해범위를 예측해본다. CA 수행 시 바람측정높이는 3 m로 하였다.

4. CA 수행 결과 및 분석

앞서 분석한 자료를 바탕으로 부산항 북항의 A 터미널에서 불화수소 1톤 누출사고가 났다고 가정하고, 기상청에 나와 있는 북항 지역의 월별 평균날씨를 토대로 CA를 수행하였다. CA 수행 설정한 입력값은 Table 6에 정리하였다. 수행을 위하여 누출시간은 KOSHA GUIDE의 ‘최악의 누출시나리오 선정에 관한 기술지침’에 따라서 사고가 발생되어 위험물컨테이너에서 10분 동안 전량이 누출되는 시나리오로 수행하였다. 지상 거칠기는 최악의 누출시나리오 선정을 위해, 컨테이너 터미널에 적재된 컨테이너가 많이 없다고 가정하고 open country로 하였다. Source type은 direct, 누출형태는 연속누출로 설정하였다. 물질의 끝점 농도로 ERPG-2 (거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 보호조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상의 영향이 나타나지 않는 공기 중의 최대 농도)를 사용하였다.

다른 시기에 비해 3월의 경우 불화수소의 피해 영향이 주민 밀집 지역으로 확산됨을 확인할 수 있다. 3월의 경우 최대 확산 거리는 ERPG-2 기준 약 1.5 km이며, 대체적으로 그 영향범위가 주민 밀집 지역임을 Fig. 5와 6에서 확인할 수 있다.

현재 A 컨테이너 터미널의 위험물 누출 시 비상대응 절차는 다음과 같다¹¹⁾.

- 1) 사소한 누출, 유출이라 할지라도 물질이 정확히 파악될 때까지, 위험물 유출과 같이 취급하라.
- 2) 만약 본인의 안전이 확보된다면, 누구든지 즉시 위험에서 구할 것.

Table 6. Input date of the CA

Source	Type	The amount of leakage	The duration time	Ground roughness
Direct	Continuous	1 ton	10 mins	Open country

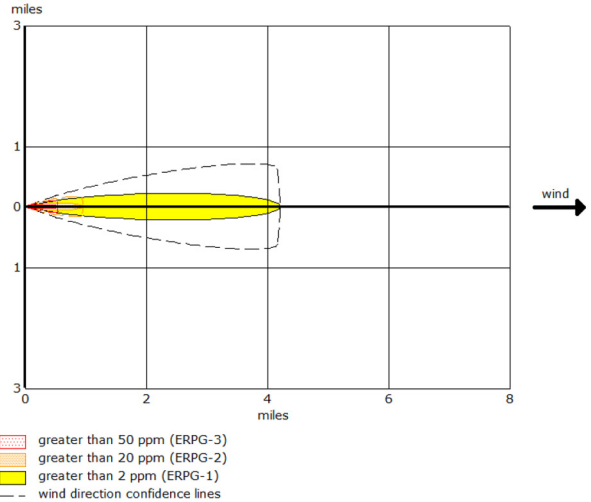


Fig. 5. Dispersion range of HF in March.



Fig. 6. Mapping of a dispersion range in March.

- 3) 최초 상황 발견자는 통제센터 및 위험물관리자에게 즉각 연락을 취할 것.
- 4) 만약 안전하다면, 점화성이 있는 물질들을 제거하라.
- 5) 만약 안전하다면, 바다로 유출되지 않도록 조치를 취하라.
- 6) 위험물관리자는 비상대피가 필요할 시 방화관리자에게 통보하여 즉각적인 비상대피가 이루어질 수 있도록 조치할 것.
- 7) 위험물관리자는 비상대피 시 대피장소를 누출, 유출된 방향과 바람의 반대방향으로 정하라.
- 8) 위험물관리자는 필요 시 119에 신고한 후 적절한 비상대응조치를 요청할 것.
- 9) 관리감독자는 GATE에서 119구조대를 유출 장소까지 신속히 에스코트 할 것
- 10) 위험물관리자는 선박과 관련된 사고이거나 선박에 잠재적인 영향을 미친다고 판단되면 즉시 선장과 접촉할 것.

11) 위험물관리자는 119가 도착하면 사고에 대한 비상대응조치 권한을 이양하고 지원할 것
 불산에 노출이 되더라도 즉각적인 통증이 없을 수도 있고, 육안으로 확인이 불가능 할 수도 있다. 만약 불산을 흡입하게 되면, 폐 염증 또는 충혈을 유발하여, 순환기계통에 손상을 가져오게 되므로, 농도를 알 수 없거나 노출허용기준을 초과하는 지역으로 출입하기 위해서는 자장식호흡기와 몸 전체를 보호할 수 있는 화학복을 착용해야 한다. 하지만 위의 비상대응 절차를 보면 자장식호흡기나 화학복을 착용하라는 항목은 없고 만약 안전하다면 누구든 즉시 위험에서 구할 것, 물질을 제거할 것 이라고 되어 있다. 만약 불산이 누출된 장소에 적절한 개인 보호 장구 없이 위험에 처한 사람을 구출하려 한다면, 그 사람은 제2의 희생자가 될 가능성이 높다. 이렇게 되면 희생자가 늘어나 구조작업을 진행이 더 힘들어 진다. 위험물의 물동량이 계속 증가하고 그 종류도 다양해지고 있어 작업자들에게 위험물에 대한 경각심을 일깨워 주고, 항만 내 작업자들에게는 위험물 누출 시 본인의 안전을 스스로 판단하지 않고 즉각적으로 그 구역에서 대피할 수 있도록 하는 안전교육이 필요하다. 항만 위험물관리자는 물질이 파악되는 즉시 CA 수행을 통해 최악의 누출범위를 산정하여 안전하게 비상대피가 이루어 질 수 있도록 한다.

주민대피가 안전하게 이루어지기 위해서 기동방제반 또는 지자체에서는 누출사고 후 즉각적인 CA 수행을 통해 예상피해범위를 산정하고, 주민대피에 필요한 조치를 시행해야 한다. 현재 비상대응 절차에는 이와 관련된 내용이 매우 불분명 하다. 지자체는 지역방송매체, 안내방송, 민방위대 동원 등을 통해 주민보호계획을 실행할 의무가 있는데, 이때 CA 수행을 통해 예상피해범위를 신속하게 산정하면 주민보호계획 실행, 경찰과 협조를 통한 도로 통제 및 보호구 착용에 대한

의사결정에 좋은 도구가 될 수 있다. Fig. 7은 본 연구 내용을 기반으로 한 새로 제안된 HNS 누출사고에 대한 비상대응절차다.

5. 결론

본 연구에서는 가상의 누출사고 시나리오를 통해 항만에서 위험·유해물질 누출사고 발생 시 대응방안을 제안하였다.

발생 가능성이 높은 가상의 시나리오를 만들기 위해, 우선 우리나라 최대 항만인 부산항에서의 위험물 물동량, 컨테이너 처리물량 대비 위험물 점유율 및 실제 사고사례를 분석하여 부산항 북항의 A 컨테이너 터미널을 사고 지역으로 선정하였다. 두 번째로 사고대상 물질을 선정하기 위해 부산항에서 가장 많이 반입된 위험물 8가지를 대상으로 NFPA 704 등급, 끓는점 및 어는점을 분석하여 사고대상 물질로 불산을 선정하였고, 최악의 누출시나리오 선정을 다양한 수용액 상 불산의 농도를 정하기 어려운 현실을 고려하여 상온에서 기화되기 쉬운 불화수소를 최종 사고 대상 물질로 선정하였다. 마지막으로 날씨는 기상청 방재기상연보에 나와 있는 부산 북항 지역의 2014년 월별 평균 날씨로 선정하였고, 이렇게 분석한 자료들을 바탕으로 CA 수행하였다. CA 수행은 CA 소프트웨어인 ALOHA를 사용하였다.

CA 수행결과, 부산항 북항 A 컨테이너 터미널 장치장에서 1톤의 불화수소가 누출됐을 경우 항만 대부분이 거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 보호조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상의 영향이 나타나지 않는 공기중의 최대 농도인 ERPG-2 농도보다 높은 농도에 노출되어 있었고, 특히 3월 결과의 경우 ERPG-2 최대농도 범위인 1.53 km 이내에 거주구역이 존재하고 있어 주민들에게도 큰 피해를 줄 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

항만에서 위험물 누출사고가 발생하면 항만 작업자들의 신속한 대피가 필요하지만 현재 비상대응 절차는 물질별로 수립되어 있지 않으며, 매우 간략하게 마련되어 있어서 다양한 물질을 취급하는 현장에서 사용하기에는 매우 부적절하다. 누출사고를 대비해 적절한 비상대응 지침서를 마련하고, 항만 위험물 관리자는 물질이 파악되는 즉시 CA 수행을 통해 누출범위를 산정하여 안전하게 비상대피가 이루어 질 수 있도록 해야한다. 현재 보유하고 있는 보호 장비도 위험물 처리작업을 진행하기에는 수량이 부족하므로, 사고 위험물을 효과적 처리하기 위해서 자장식호흡기 및 화학복

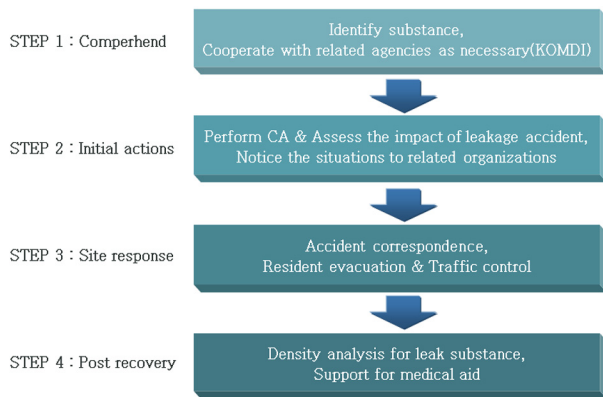


Fig. 7. Emergency response procedure for HNS leakage accident.

등의 장비 확충이 필요하다. 주민대피를 위해 방제대
응반 및 지자체에서 누출사고 직후 즉각적인 CA 수행
을 통해 예상피해범위를 신속하게 산정하여 적절한 주
민보호계획을 실행 할 수 있도록 체계적인 네트워크도
반드시 구축되어야 한다.

항만에서 위험·유해물질 누출사고 발생 시 누출 물
질파악 후 신속한 CA 수행을 통해 피해범위를 예측한
다면 누출사고로 인한 피해를 줄이고, 2차 피해를 예방
하는 등에 충분한 활용가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글 : 이 논문은 2016학년도 부경대학교의 지
원을 받아 수행된 연구임 (PK-C-D-2016-0496).

References

- 1) S. Hanna et al., "Comparison of Six Widely-Used Dense Gas Dispersion Models for Three Recent Chlorine Railcar Accidents", *Process Safety Progress*, Vol. 27, No. 3, pp. 248-259. 2008.
- 2) S. T. Chung, E. B. Lee and J. H. Yun, "A Study on the Development of the Response Resource Model of Hazardous and Noxious Substances Based on the Risks of Marine Accidents in Korea", *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 36, No. 10, pp. 857-864. 2012.
- 3) M. J. Lee and S. W. Oh, "Development of Response Scenario for a Simulated HNS Spill Incident", *Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 6, pp. 677-684. 2014.
- 4) Council of Dangerous Goods Safety Manager at Busan Port, *Statistical Records of Dangerous Goods at Busan Port*, 2012.
- 5) Council of Dangerous Goods Safety Manager at Busan Port, *Accident Records of Dangerous Goods at Busan Port*, 2012.
- 6) KMA, "Korea Meteorological Administration, Annual Report of Weather", <http://www.kma.go.kr/>.
- 7) KOSHA, "Korea Occupational Safety and Health Agency, Technical Specifications for the Worst Leakage Scenario Selection", 2012.
- 8) KOMDI, "Korea Maritime Dangerous Goods Inspection and Research Institute, Hazardous and Noxious Substance(HNS) Convention, Report", pp. 1-23, 2012.
- 9) Busan Regional Maritime Affairs and Port Office, "Inspection Plan for Dangerous Goods Container", 2013.
- 10) National Fire Protection Association, "NFPA 704: Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response".
- 11) Korea Express Busan Container Terminal, "KBCT Emergency Response Procedures", 2014.